



Homepage Journal: <https://jurnal.unismuhpalu.ac.id/index.php/JKS>

Transformasi Efisiensi Operasional melalui Integrasi Lean Manufacturing dan Teknologi Digital: Sebuah Tinjauan Sistematis pada Industri Manufaktur di Era Industri 4.0

Operational Efficiency Transformation through the Integration of Lean Manufacturing and Digital Technology: A Systematic Review of the Manufacturing Industry in the Industry 4.0 Era

Jalia Adhara¹, Elsha Hana Maharani², Marwa Syahidah E.J³, Dita Febiana⁴, Silvia Agustiani⁵

¹ Manajemen, FEB, Universitas Dr Khez Muttaqien, jaliaadhara939@gmail.com

² Manajemen, FEB, Universitas Dr Khez Muttaqien, elshahmaharani@gmail.com

³ Manajemen, FEB, Universitas Dr Khez Muttaqien, marwasyahidah09@gmail.com

⁴ Manajemen, FEB, Universitas Dr Khez Muttaqien, ditafebiana4@gmail.com

⁵ Manajemen, FEB, Universitas Dr Khez Muttaqien, gustiansilvia@gmail.com

*Corresponding Author: E-mail: jaliaadhara939@gmail.com

Artikel Penelitian

Article History:

Received: 10 Sep, 2025

Revised: 11 Nov, 2025

Accepted: 12 Dec, 2025

Kata Kunci:

big data analytics; efisiensi operasional; industri 4.0; lean manufacturing; transformasi digital

ABSTRAK

Konvergensi teknologi digital dengan metodologi lean manufacturing menciptakan paradigma transformatif dalam optimalisasi efisiensi operasional manufaktur kontemporer. Kajian sistematis ini mengeksplorasi dinamika integrasi antara prinsip eliminasi pemborosan dengan kapabilitas teknologi Industri 4.0 melalui analisis literatur komprehensif periode 2020-2025 dari database akademik bereputasi. Metodologi penelitian menerapkan systematic literature review dengan teknik thematic synthesis untuk mengidentifikasi pola integrasi, mekanisme kausal, dan faktor determinan keberhasilan implementasi. Temuan mengungkapkan bahwa sinergi Internet of Things, big data analytics, dan artificial intelligence dengan praktik lean menghasilkan reduksi downtime hingga 30%, peningkatan akurasi forecasting permintaan 25%, penurunan biaya operasional mencapai 30%, serta pengurangan inventori 15% dengan tingkat pemenuhan pesanan tepat waktu mencapai 98%. Keberhasilan transformasi ditentukan oleh enam faktor kritis: komitmen kepemimpinan strategis, kesiapan infrastruktur teknologi informasi, kompetensi digital workforce, manajemen perubahan organisasional efektif, kolaborasi lintas fungsi terstruktur, dan pengukuran kinerja berbasis key performance indicators. Studi ini mengkonstruksi framework konseptual integratif yang mensinergikan dimensi teknologi, proses bisnis, dan faktor organisasional sebagai roadmap strategis transformasi digital berkelanjutan.

Keywords:

big data analytics; digital transformation; industry 4.0; lean manufacturing; operational efficiency

DOI: 10.56338/jks.v8i12.9556

ABSTRACT

The convergence of digital technologies with lean manufacturing methodologies creates a transformative paradigm in optimizing contemporary manufacturing operational efficiency. This systematic review explores integration dynamics between waste elimination principles and Industry 4.0 technological capabilities through comprehensive literature analysis spanning 2020-2025 from reputable academic databases. Research methodology applies systematic literature review employing thematic synthesis techniques to identify integration patterns, causal mechanisms, and determinant success factors in implementation. Findings reveal that synergies among Internet of Things, big data analytics, and artificial intelligence with lean practices generate downtime reduction up to 30%, demand forecasting accuracy improvement of 25%, operational cost decrease reaching 30%, and inventory reduction of 15% with on-time order fulfillment achieving 98%. Transformation success is determined by six critical factors: strategic leadership commitment, information technology infrastructure readiness, workforce digital competencies, effective organizational change management, structured cross-functional collaboration, and key performance indicators-based measurement systems. This study constructs an integrative conceptual framework that synergizes technological dimensions, business processes, and organizational factors as strategic roadmap for sustainable digital transformation in manufacturing enterprises.

PENDAHULUAN

Revolusi digital dalam sektor manufaktur global telah memicu transformasi paradigmatis yang mengintegrasikan teknologi canggih dengan prinsip efisiensi operasional konvensional untuk membentuk ekosistem produksi yang lebih responsif dan adaptif. Era Industri 4.0 menghadirkan konvergensi teknologi *Internet of Things*, kecerdasan buatan, analitik *big data*, dan sistem siber-fisik yang memfasilitasi pengambilan keputusan otonom berbasis informasi waktu-nyata serta mengoptimalkan aliran nilai produksi secara menyeluruh (Kamble, Gunasekaran, & Dhoke, 2020). Secara simultan, filosofi *lean manufacturing* yang berakar pada *Toyota Production System* tetap relevan sebagai fondasi eliminasi pemborosan melalui metodologi terstruktur seperti *value stream mapping*, sistem *just-in-time*, dan perbaikan berkelanjutan yang melibatkan seluruh lapisan organisasi dalam identifikasi serta resolusi permasalahan operasional (Saabye, Kristensen, & Wæhrens, 2020). Sinergi antara prinsip *lean* dengan kapabilitas teknologi digital melahirkan konsep *Lean 4.0* yang memperkuat potensi peningkatan efisiensi melalui visibilitas operasional komprehensif, otomatisasi proses cerdas, dan analitik prediktif sepanjang rantai nilai manufaktur (Arana-Landín, Uriarte-Gallastegi, Landeta-Manzano, & Laskurain-Iturbe, 2023).

Meskipun potensi teoretis integrasi *lean-digital* sangat menjanjikan, implementasi praktisnya menghadapi hambatan kompleks meliputi kesulitan harmonisasi infrastruktur *legacy* dengan sistem digital, resistensi perubahan organisasional, defisiensi kompetensi digital tenaga kerja, serta keterbatasan sumber daya finansial yang mengakibatkan mayoritas

perusahaan masih berada pada tahap embrionik transformasi digital dengan realisasi nilai tambah yang suboptimal (Feng & Ali, 2024; Valamede & Akkari, 2020). Kesenjangan riset yang signifikan teridentifikasi pada ketiadaan kerangka konseptual holistik yang secara sistematis mengintegrasikan dimensi teknologi, proses bisnis, dan faktor manusia dalam satu *framework* analitis koheren untuk memandu implementasi integrasi *lean-digital* (Ghaithan, Alshammakhi, Mohammed, & Mazher, 2023; Tripathi et al., 2022). Penelitian ini bertujuan mengisi lacuna pengetahuan tersebut melalui tinjauan literatur sistematis untuk: mengidentifikasi pola integrasi *lean-digital* yang terbukti efektif; menganalisis mekanisme kausal teknologi digital dalam memperkuat praktik *lean*; mengekstraksi faktor-faktor kritis keberhasilan implementasi; dan mengkonstruksi *framework* konseptual integratif sebagai panduan strategis transformasi efisiensi operasional manufaktur di era Industri 4.0 (Rossini, Cifone, Kassem, Costa, & Portioli-Staudacher, 2021).

KAJIAN TEORITIS

Transformasi digital dalam ekosistem manufaktur kontemporer memerlukan pemahaman komprehensif terhadap dua pilar fundamental yang saling berkontribusi dalam optimalisasi efisiensi operasional. Paradigma *lean manufacturing* yang diinisiasi oleh Toyota Production System merepresentasikan filosofi manajemen sistematis yang berorientasi pada eliminasi aktivitas non-nilai tambah melalui implementasi metodologi terstruktur seperti *value stream mapping*, sistem produksi *just-in-time*, dan praktik perbaikan berkelanjutan *kaizen* (Abdurrazq Hasibuan, 2025). Filosofi ini menekankan penciptaan aliran produksi yang lancar dengan meminimalkan inventori, mengeliminasi defek, dan mengoptimalkan utilisasi sumber daya melalui keterlibatan holistik seluruh elemen organisasi dalam identifikasi dan penyelesaian permasalahan operasional.

Revolusi Industri 4.0 menghadirkan dimensi baru melalui penetrasi teknologi digital canggih yang memfasilitasi interkoneksi sistem siber-fisik, memungkinkan pengumpulan dan analisis data secara *real-time*, serta mengotomasi proses pengambilan keputusan berbasis kecerdasan buatan (Saraswat, Agrawal, & Rane, 2024). Konvergensi teknologi *Internet of Things*, komputasi awan, *big data analytics*, dan sistem cerdas menciptakan ekosistem manufaktur adaptif yang mampu merespons fluktuasi permintaan pasar dengan tingkat presisi dan kecepatan yang belum pernah tercapai sebelumnya. Integrasi sinergis antara prinsip *lean* dengan kapabilitas digital melahirkan konsep *Lean 4.0* yang mengamplifikasi potensi eliminasi pemborosan melalui visibilitas operasional menyeluruh dan otomasi proses berbasis algoritma prediktif.

Penelitian (Saad, Bhovar, Bahadori, & Zhang, 2021) mengidentifikasi bahwa implementasi teknologi digital pada praktik *lean* menghasilkan peningkatan efisiensi operasional yang signifikan melalui mekanisme pengurangan waktu siklus produksi dan peningkatan akurasi perencanaan. (Maulana & Shadiq, 2025) menekankan kompleksitas implementasi yang meliputi tantangan harmonisasi sistem *legacy* dengan infrastruktur digital, resistensi perubahan organisasional, serta keterbatasan kompetensi digital tenaga kerja.

Analisis (Jamari & Fedouaki, 2025) mengungkapkan bahwa mayoritas perusahaan manufaktur masih berada pada tahap awal transformasi digital dengan tingkat realisasi nilai tambah yang suboptimal. (Komkowski et al., 2025) mengidentifikasi kesenjangan antara ekspektasi teoretis dan implementasi praktis yang mengakibatkan kegagalan inisiatif transformasi digital. (Wibowo, 2023) menegaskan perlunya kerangka konseptual komprehensif yang mengintegrasikan perspektif teknologi, proses, dan manusia untuk mengoptimalkan integrasi *lean-digital*. (Anggriani & Firdaus, 2024) menggarisbawahi urgensi sintesis holistik yang melampaui eksplorasi parsial hubungan antara *tool lean* spesifik dengan teknologi digital tertentu dalam konteks peningkatan efisiensi operasional manufaktur.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengadopsi pendekatan *library research* dengan desain tinjauan literatur sistematis (*systematic literature review*) untuk mengeksplorasi integrasi praktik *lean manufacturing* dengan teknologi digital Industri 4.0 dalam konteks peningkatan efisiensi operasional manufaktur. Strategi penelusuran literatur dilaksanakan melalui pangkalan data akademik elektronik bereputasi meliputi Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, dan ScienceDirect dengan rentang temporal publikasi 2020-2025 guna memastikan relevansi dan kemutakhiran sumber informasi. Kriteria inklusi mencakup artikel jurnal terindeks, prosiding konferensi internasional, dan monograf akademis yang secara eksplisit membahas mekanisme integrasi antara metodologi *lean* dengan teknologi digital seperti *Internet of Things*, *artificial intelligence*, *big data analytics*, dan sistem siber-fisik dalam setting operasional manufaktur. Pengumpulan data sekunder dilakukan secara sistematis menggunakan kombinasi kata kunci Boolean: ("*lean manufacturing*" OR "*lean production*") AND ("*Industry 4.0*" OR "*digital transformation*" OR "*smart manufacturing*") AND ("*operational efficiency*" OR "*performance improvement*"), yang menghasilkan korpus literatur komprehensif untuk analisis mendalam (Saad et al., 2021).

Proses analisis data menerapkan metode *thematic synthesis* dengan tahapan koding terbuka untuk mengekstraksi konsep-konsep fundamental, kategorisasi tematik untuk mengelompokkan pola integrasi berdasarkan kesamaan karakteristik, dan interpretasi analitis untuk mengidentifikasi mekanisme kausal serta faktor-faktor kritis keberhasilan implementasi. Validasi temuan dilakukan melalui triangulasi sumber dengan membandingkan konvergensi evidensi empiris dari multiple studi independen untuk memastikan robustness kesimpulan penelitian. Sintesis naratif dikonstruksi untuk mengintegrasikan perspektif teknologi, proses bisnis, dan dimensi organisasional dalam framework konseptual holistik yang menjelaskan dinamika sinergi *lean-digital* dalam transformasi efisiensi operasional. Keterbatasan metodologis penelitian ini mencakup dependensi terhadap kualitas dan kelengkapan literatur yang tersedia, serta potensi bias publikasi yang mengutamakan studi dengan hasil positif,

sehingga interpretasi temuan perlu mempertimbangkan konteks dan batasan ini secara kritis dalam aplikasi praktis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola Integrasi Teknologi Digital dalam Praktik *Lean Manufacturing*

Analisis sistematis terhadap literatur mengungkapkan bahwa integrasi teknologi digital dengan prinsip *lean manufacturing* menghasilkan pola transformasi yang terstruktur dalam ekosistem manufaktur kontemporer, di mana teknologi *Internet of Things* menjadi fondasi konektivitas sistem siber-fisik yang memfasilitasi pengumpulan data operasional secara *real-time* untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis evidensi empiris (Zulfadlillah Zulfadlillah, Moh Ayip Fathani, Muhamad Noval, & Irwana Irwana, 2024). Implementasi sensor *IoT* pada peralatan produksi memungkinkan monitoring parameter kritis dengan presisi tinggi, menghasilkan reduksi *downtime* hingga 30% dan penurunan biaya pemeliharaan sebesar 20% melalui mekanisme *predictive maintenance* (Saraswat et al., 2024; Zulfadlillah Zulfadlillah et al., 2024). Konvergensi teknologi *big data analytics* dengan *value stream mapping* tradisional melahirkan pendekatan *digital value stream mapping* yang memberikan visibilitas komprehensif terhadap aliran material dan informasi, memungkinkan identifikasi pemborosan tersembunyi serta mengoptimalkan alokasi sumber daya berdasarkan pola historis dan proyeksi permintaan (Komkowski et al., 2025). Studi empiris menunjukkan bahwa adopsi platform komputasi awan untuk mengintegrasikan sistem *Enterprise Resource Planning* dengan data sensor *IoT* meningkatkan akurasi peramalan permintaan hingga 25% dan mengurangi tingkat kesalahan produksi menjadi 0,001% (Anggriani & Firdaus, 2024; Zulfadlillah Zulfadlillah et al., 2024).

Mekanisme Peningkatan Efisiensi Operasional melalui Sinergi *Lean-Digital*

Mekanisme kausal teknologi digital dalam memperkuat efektivitas praktik *lean* dapat dipahami melalui tiga jalur utama: peningkatan visibilitas operasional, otomasi pengambilan keputusan, dan optimalisasi berbasis algoritma prediktif (Pristiwaningsih, Rizky, Atmojo, & Nadhifah, 2024). Penelitian komparatif mengungkapkan bahwa perusahaan mengadopsi teknologi digital mencapai reduksi biaya operasional hingga 30%, dibandingkan 15% pada implementasi *lean* konvensional, mengindikasikan efek pengganda signifikan dari digitalisasi (Fajri, 2025; Pristiwaningsih et al., 2024). Transformasi sistem *Total Quality Management* di era digital mendemonstrasikan bagaimana integrasi *big data analytics* dengan siklus *Plan-Do-Check-Act* menghasilkan pengurangan tingkat defek hingga 50% melalui analisis korelasi multidimensional parameter proses (Fajri, 2025). Dinamika peningkatan efisiensi termanifestasi dalam transformasi sistem pemeliharaan menuju *predictive maintenance* yang didukung algoritma *machine learning*, dengan akurasi prediksi kegagalan mencapai 95% (Abdurrazq Hasibuan, 2025; Attia Hussien Gomaa, 2025). Studi kasus pada Siemens dan PT Unilever Indonesia menunjukkan bahwa integrasi sensor *IoT* dengan *Enterprise Resource*

Planning menghasilkan optimalisasi rantai pasok yang mengurangi inventori sebesar 15% dan meningkatkan pemenuhan pesanan tepat waktu hingga 98% (Saad et al., 2021; Zulfadlillah Zulfadlillah et al., 2024).

Faktor-Faktor Kritis Keberhasilan Implementasi Integrasi *Lean-Digital*

Identifikasi faktor-faktor kritis mengungkapkan bahwa komitmen kepemimpinan puncak merupakan determinan fundamental yang membentuk arah strategis dan alokasi sumber daya dalam transformasi digital (Komkowski et al., 2025). Kesiapan infrastruktur teknologi informasi menjadi prasyarat esensial yang mencakup ketersediaan jaringan komunikasi andal dan sistem keamanan siber robust untuk melindungi informasi operasional sensitif (Anggriani & Firdaus, 2024). Kompetensi digital tenaga kerja merepresentasikan faktor kritis yang memerlukan investasi substansial dalam program pelatihan berkelanjutan untuk memastikan adopsi efektif solusi digital. Manajemen perubahan organisasional memerlukan pendekatan holistik yang mengintegrasikan komunikasi transparan, keterlibatan karyawan, dan mekanisme dukungan adaptasi terhadap proses kerja baru (Saraswat et al., 2024). Kolaborasi lintas fungsi antara departemen teknologi informasi, operasional produksi, dan manajemen strategis menjadi imperatif untuk memastikan solusi digital terintegrasi secara *seamless* dengan proses bisnis eksisting (Johansson, Bruch, Chirumalla, Osterman, & Stålberg, 2024; Saad et al., 2021). Pengukuran kinerja melalui *key performance indicators* memungkinkan evaluasi efektivitas implementasi secara objektif dan penyesuaian strategis berkelanjutan untuk memastikan investasi teknologi digital menghasilkan nilai tambah terukur (Abdurrazaq Hasibuan, 2025; Attia Hussien Gomaa, 2025).

KESIMPULAN

Tinjauan sistematis terhadap integrasi *lean manufacturing* dengan teknologi digital Industri 4.0 mengonfirmasi bahwa konvergensi kedua paradigma ini menghasilkan transformasi fundamental dalam optimalisasi efisiensi operasional manufaktur melalui tiga mekanisme utama yang saling memperkuat. Pertama, teknologi *Internet of Things* dan *big data analytics* memperkuat visibilitas operasional komprehensif yang memfasilitasi identifikasi pemborosan tersembunyi dan pengambilan keputusan berbasis data *real-time*, menghasilkan reduksi *downtime* hingga 30% dan peningkatan akurasi peramalan permintaan sebesar 25%. Kedua, implementasi kecerdasan buatan dan *machine learning* mengotomasi proses *predictive maintenance* dan optimalisasi parameter produksi dengan tingkat akurasi mencapai 95%, yang secara signifikan melampaui kapabilitas pendekatan *lean* konvensional dalam mengeliminasi defek dan meminimalkan biaya operasional hingga 30%. Ketiga, digitalisasi rantai pasok melalui platform terintegrasi mengakselerasi responsivitas sistem *just-in-time* terhadap fluktuasi permintaan dengan mengurangi tingkat inventori sebesar 15% dan meningkatkan tingkat pemenuhan pesanan tepat waktu mencapai 98%, yang merefleksikan peningkatan

efisiensi modal kerja secara substansial. Faktor-faktor kritis keberhasilan implementasi mencakup komitmen kepemimpinan strategis, kesiapan infrastruktur teknologi, kompetensi digital tenaga kerja, manajemen perubahan organisasional yang efektif, serta kolaborasi lintas fungsi yang terstruktur untuk memastikan harmonisasi sistem *legacy* dengan infrastruktur digital kontemporer dalam menciptakan ekosistem manufaktur pintar yang berkelanjutan.

REKOMENDASI

Berdasarkan temuan penelitian, direkomendasikan bahwa perusahaan manufaktur mengadopsi pendekatan implementasi bertahap dan modular yang memprioritaskan digitalisasi proses dengan potensi dampak tertinggi terhadap efisiensi operasional, dimulai dari investasi infrastruktur *IoT* untuk monitoring *real-time* dan pengembangan kapabilitas *big data analytics* sebelum melakukan otomasi penuh sistem produksi. Organisasi perlu mengalokasikan investasi substansial untuk program pelatihan berkelanjutan guna mengembangkan kompetensi digital tenaga kerja yang mencakup literasi data, pemrograman dasar, dan kemampuan analitis untuk memaksimalkan pemanfaatan teknologi digital dalam konteks operasional spesifik. Keterbatasan penelitian ini terletak pada dependensi terhadap data sekunder yang mayoritas berasal dari konteks industri negara maju, sehingga generalisasi temuan ke konteks manufaktur negara berkembang dengan karakteristik infrastruktur dan kompetensi tenaga kerja yang berbeda memerlukan validasi empiris lebih lanjut melalui studi kasus longitudinal yang mengeksplorasi dinamika implementasi dalam berbagai skala operasi dan sektor industri. Penelitian mendatang disarankan untuk mengeksplorasi dimensi keberlanjutan lingkungan dari integrasi *lean-digital*, mengembangkan model maturitas implementasi yang terstandarisasi, serta menganalisis implikasi sosial-ekonomi dari otomasi terhadap struktur ketenagakerjaan manufaktur dalam era transformasi digital yang akseleratif.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrazaq Hasibuan, N. F. H. R. P. R. M. fari. alwafi. (2025). Optimalisasi manajemen operasional dalam meningkatkan efisiensi produksi di industri manufaktur . *Journal Computer Science and Information Technology (JCoInT)*, 6(1), 269–275.
- Anggriani, V. D., & Firdaus, R. (2024). Penerapan Strategi Transformasi Digital Di lingkungan Manufaktur Pada Sistem Informasi Manajemen. *Lokawati : Jurnal Penelitian Manajemen Dan Inovasi Riset*, 2(4), 140–150.
- Arana-Landín, G., Uriarte-Gallastegi, N., Landeta-Manzano, B., & Laskurain-Iturbe, I. (2023). The Contribution of Lean Management—Industry 4.0 Technologies to Improving Energy Efficiency. *Energies*, 16(5), 1–19. <https://doi.org/10.3390/en16052124>
- Attia Hussien Gomaa. (2025). Lean 4.0: A Strategic Roadmap for Operational Excellence and Innovation in Smart Manufacturing. *International Journal of Emerging Science and Engineering*, 13(5), 1–20. <https://doi.org/10.35940/ijese.d2592.13050425>
- Fajri, F. M. (2025). Transformasi Total Quality Management (Tqm) Di Era Digital: Strategi

- Efisiensi Produksi. *Indonesian Journal of Economics and Management*, (February), 9–10. Retrieved from <https://doi.org/10.35313/ijem.vXiX.XXXX>
- Feng, C., & Ali, D. A. (2024). Leveraging Digital Transformation and Erp for Enhanced Operational Efficiency in Manufacturing Enterprises. *Journal of Law and Sustainable Development*, 12(3), e2455. <https://doi.org/10.55908/sdgs.v12i3.2455>
- Ghaithan, A. M., Alshammakhi, Y., Mohammed, A., & Mazher, K. M. (2023). Integrated Impact of Circular Economy, Industry 4.0, and Lean Manufacturing on Sustainability Performance of Manufacturing Firms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph20065119>
- Jamari, S., & Fedouaki, F. (2025). Industry 4.0 Enablers and Lean Manufacturing Tools in Respect of Human Resources. *Engineering Proceedings*, 97, 43. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/engproc2025097043>
- Johansson, P. E., Bruch, J., Chirumalla, K., Osterman, C., & Stålberg, L. (2024). Integrating advanced digital technologies in existing lean-based production systems: analysis of paradoxes, imbalances and management strategies. In *International Journal of Operations and Production Management* (Vol. 44). <https://doi.org/10.1108/IJOPM-05-2023-0434>
- Kamble, S., Gunasekaran, A., & Dhone, N. C. (2020). Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organisational performance in Indian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 58(5), 1319–1337. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1630772>
- Komkowski, T., Sony, M., Antony, J., Lizarelli, F. L., Garza-Reyes, J. A., & Tortorella, G. L. (2025). Operational practices for integrating lean and industry 4.0—a dynamic capabilities perspective. *International Journal of Production Research*, 63(4), 1517–1537. <https://doi.org/10.1080/00207543.2024.2381127>
- Maulana, A., & Shadiq, S. (2025). Strategi Manajemen Operasional Dalam Menghadapi Manufaktur Di Indonesia. *AT-TAKLIM: Jurnal Pendidikan Multidisiplin*, 2(5), 578–588.
- Pristiwaningsih, E. R., Rizky, D., Atmojo, T. A., & Nadhifah, F. (2024). Transformasi Digital di Industri Manufaktur: Dampak pada Efisiensi Operasional. *Elektriase: Jurnal Sains Dan Teknologi Elektro*, 14(02), 203–211. <https://doi.org/10.47709/elektriase.v14i02.4809>
- Rossini, M., Cifone, F. D., Kassem, B., Costa, F., & Portioli-Staudacher, A. (2021). Being lean: how to shape digital transformation in the manufacturing sector. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(9), 239–259. <https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2020-0467>
- Saabye, H., Kristensen, T. B., & Wæhrens, B. V. (2020). Real-time data utilization barriers to improving production performance: An in-depth case study linking lean management and industry 4.0 from a learning organization perspective. *Sustainability (Switzerland)*, 12(21), 1–21. <https://doi.org/10.3390/su12218757>
- Saad, S. M., Bhovar, C., Bahadori, R., & Zhang, H. (2021). Industry 4.0 application in lean manufacturing- a systematic review. *Advances in Transdisciplinary Engineering*, 15,

341–346. <https://doi.org/10.3233/ATDE210059>

Saraswat, P., Agrawal, R., & Rane, S. B. (2024). Technological integration of lean manufacturing with industry 4.0 toward lean automation: insights from the systematic review and further research directions. *Benchmarking*, (July). <https://doi.org/10.1108/BIJ-05-2023-0316>

Tripathi, V., Chattopadhyaya, S., Mukhopadhyay, A. K., Saraswat, S., Sharma, S., Li, C., & Rajkumar, S. (2022). Mathematical Problems in Engineering - 2022 - Tripathi - Development of a Data-Driven Decision-Making System Using Lean and.pdf. *Mathematical Problems in Engineering*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2022/3012215>

Valamede, L. S., & Akkari, A. C. S. (2020). Lean-40-A-new-holistic-approach-for-the-integration-of-lean-manufacturing-tools-and-digital-technologiesInternational-Journal-of-Mathematical-Engineering-and-Management-Sciences.pdf. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, 5(5), 851–868.

Wibowo, I. (2023). Implementation of Lean Manufacturing as the Main Foundation of Effective Operational Managemen. *Jurnal Manajemen, Akuntansi Dan Rumpun Ilmu Ekonomi (MAR – Ekonomi)*, 1(02), 80–86.

Zulfadlillah Zulfadlillah, Moh Ayip Fathani, Muhamad Noval, & Irwana Irwana. (2024). Penerapan Sistem Manufacturing 4.0 dengan Integrasi Internet of Things (IoT) untuk Optimalisasi Efisiensi Produksi. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Elektro Dan Komputer*, 4(1), 159–164. <https://doi.org/10.51903/juritek.v4i1.4041>